

Fatih Şekerci<sup>1</sup>, Nurgül Balcı<sup>1</sup>, Yağmur Güneş<sup>1</sup>, Ali Haydar Gültekin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jeomikrobiyoloji ve Biyojeokimya Laboratuvarı, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi  
sekercif@itu.edu.tr

## Özet

Vulkanik kayaçların ayrışması biyosfer için gerekli temel ve eser elementleri biyojeokimyasal döngüye kazandıran ana jeokimyasal süreçlerdir. Uzun ve gezegen temelli spektroskopik çalışmalar Mars yüzeyinde flüvyal ve eski göl çökellerini ortaya koyarak gezegenin erken tarihinde (Noachian) suyun bulunduğunu doğrulamıştır. Yerkürede olduğu gibi Mars'ın yüzeyinin büyük kısmı da ultramafikten mafik bileşime değişim gösteren kayaçlarla kaplıdır. Yerküredeki benzer ortamlar oldukça yüksek mikrobiyal çeşitliliğe sahip olduğu için kayaçların ayrışma profillerinin değişik Mars benzeri koşullarda araştırılması kızıl gezegenin jeolojik geçmişi hakkında önemli veriler sağlayacaktır. Mars'ın kuzeyinde bazı bölgelerde bulunan Fe oksit mineral içerikli bölgeler kayaçların ayrışmasında etkili düşük pH koşullarını işaret etmiştir. Bu çalışmada ise *Acidithiobacillus ferrooxidans* ve düşük pH'ın bazalt ayrışması üzerindeki etkilerinin ve bu etkileşim sonucunda biyolojik reaksiyonların izlerinin takibinde kullanılabilecek olası bir biyoizin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla yüksek asit koşullarında (pH ~1) yaşayabilen asidofilik kemolitotrofik *A. ferrooxidans* bakterisi kullanılarak asit koşullar altında (pH=2) iki adet bazalt kayacı üzerinde (BS1 ve BS2) 50 gün boyunca ayrışma deneyleri yapılmıştır. Deneyler biyolojik ve abiyotik bazalt deneyleri şeklinde gerçekleştirilerek deney süresince çözelti kimyasında meydana gelen değişimler (Fe<sup>2+</sup>, Fe<sub>(tot)</sub>, SiO<sub>2(aq)</sub>, Ca ve Mg) ile pH monitör edilerek metabolik reaksiyonların bazalt ayrışmasına olan etkisi araştırılmıştır. Fe<sub>(tot)</sub> konsantrasyonu biyolojik deneylerde daha düşük belirlenirken sıvı içerisinde çözünmüş olan demirin büyük kısmının abiyotik deney setlerinde Fe(II), biyolojik deney setlerinde Fe(III) formunda olduğu belirlendi. Konsantrasyonlar üzerinden SiO<sub>2(aq)</sub>, Ca ve Mg için elementer salınım oranları hesaplandı. BS1 setindeki SiO<sub>2(aq)</sub> dışında tüm ölçümler için salınım oranları biyolojik deney setlerinde daha yüksek belirlendi. Ayrıca biyolojik deney setlerinde deney bitiminde abiyotik deney setlerinde gözlemlenmeyen jarosit ve jips minerallerinin oluşumları tespit edildi. Mars'ta Meridiani Planum bölgesindeki asidik ayrışmaya bağlı jarosit ve jips oluşumları söz konusu minerallerin biyoiz potansiyeli konusunda önem taşımaktadır.

## Giriş

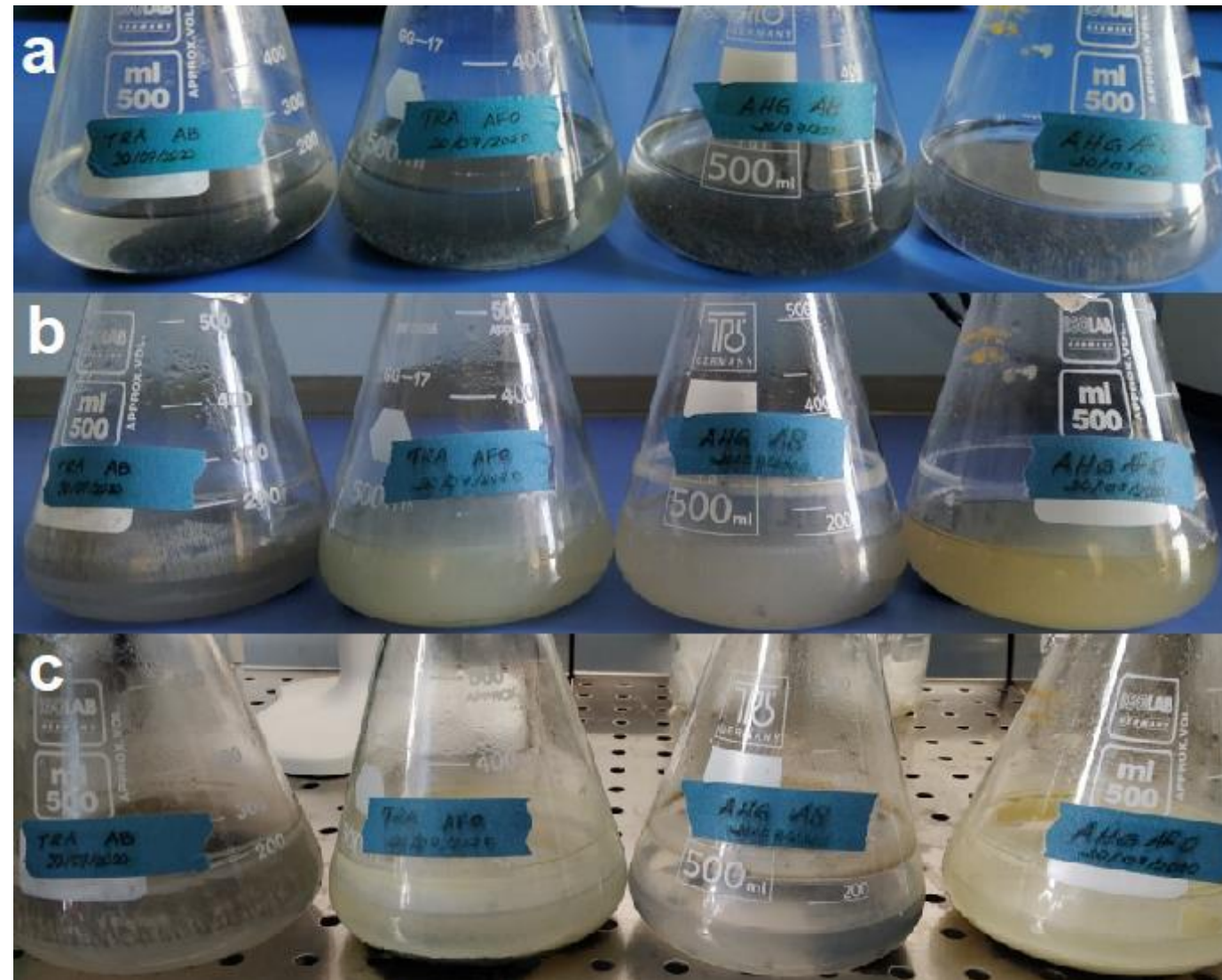
Mars yüzeyindeki ikincil Fe-oksit ve sülfat oluşumları gezegendeki ultramafik ve mafik bileşimli kayaçların geçmişte asidik ayrışmaya uğradığını işaret etmektedir (Hurowitz ve McLennan, 2007). Aynı zamanda bu kayaçlar demir içeriği bakımından zengindirler ve çalışmada kullanılan *Acidithiobacillus ferrooxidans* bakterisi asit koşullar altından demir oksitleyerek yaşam enerjisini üretmektedir (Valdes vd., 2008). Yapılan laboratuvar temelli çalışmalar *A. ferrooxidans*'in silikat mineralleri içerisinde bulunan demiri oksitleyerek hayatta kalabildiğini ve çoğalabildiğini göstermiştir (Dopson vd., 2009).

## Yöntem

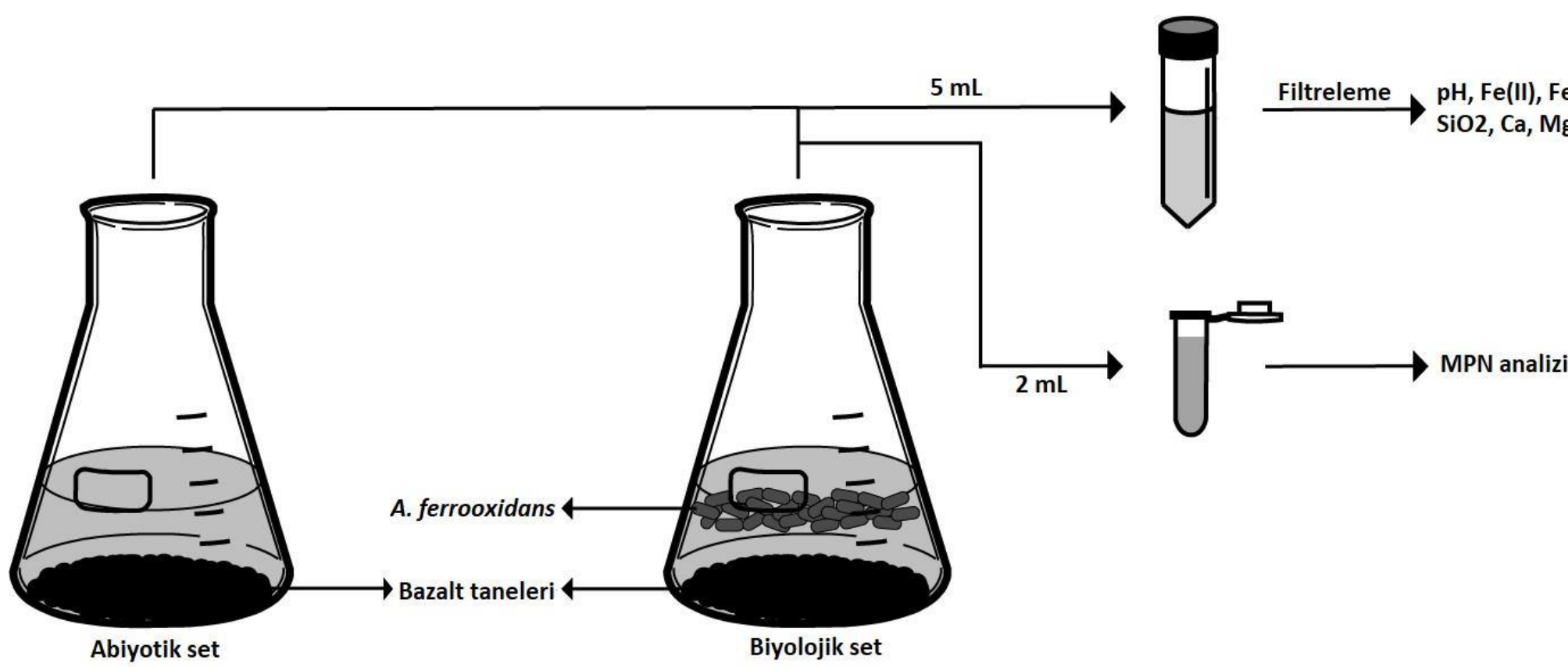
Çalışmada iki farklı bazalt kayacı ile (BS1 ve BS2) (Tablo 1) biyolojik ve abiyotik olmak üzere dört farklı deney seti hazırlanmış (BS1-AB: BS1 abiyotik, BS1-B: BS1 biyolojik, BS2-AB: BS2 abiyotik, BS2-B: BS2-biyolojik) ve hazırlanan setler 50 gün boyunca 28 °C sıcaklıkta 130 rpm çalkalanmaya bırakılmıştır. Deney süresince sıvı içerisindeki Fe<sup>2+</sup>, Fe<sub>(tot)</sub>, SiO<sub>2(aq)</sub>, Ca ve Mg konsantrasyonu ile pH değişimleri izlenmiş ve deney sonunda kayaç ve ikincil oluşumlar üzerinde mineralojik analiz yapılmıştır.

**Tablo 1.** BS1 ve BS2'nin majör oksit değerleri

Majör Oksit	BS1	BS2
SiO <sub>2</sub>	46,07	48,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,21	15,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,04	9,01
CaO	10,91	8,76
MgO	9,25	9,44
Na <sub>2</sub> O	3,14	3,61
K <sub>2</sub> O	1,51	1,97
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0,07
TiO <sub>2</sub>	2,83	1,46
MnO	0,16	0,14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,76	0,51
SrO	-	0,08
BaO	-	0,07
LOI	2,83	1,62
Toplam	99,88	101,24



**Şekil 1.** Deney setlerinin (a) başlangıçta, (b) 25. gün ve (c) 50. gündeki görüntüleri.



**Şekil 2.** Deney setlerinden yapılan örnekleme prosedürü.

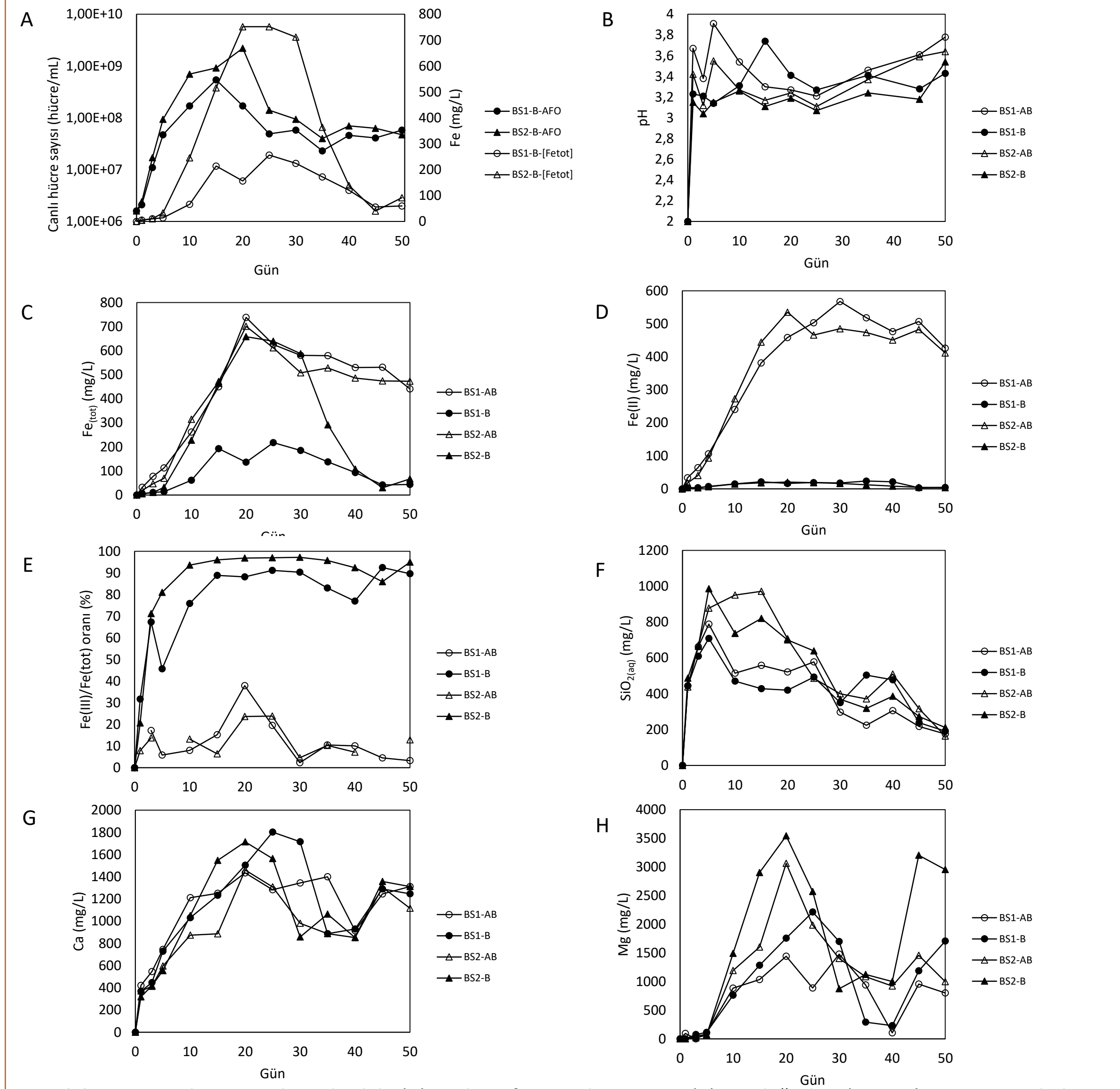
## Katkıda Bulunanlar

Çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi 42411 numaralı yüksek lisans tez projesi ve TÜBİTAK 119Y411 numaralı projesi tarafından desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan kayaçların Bet Analizi ODTÜ Merkez Laboratuvarları Yüze ve Gözenek Laboratuvarı'nda ve SEM-EDS analizleri Boğaziçi Üniversitesi İleri Teknolojiler AR-GE Merkez Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

## Kaynakça

Dopson, M., Lövgren, L., ve Boström, D., *Hydrometallurgy* 96 (2009).  
Hurowitz, J.A. ve McLennan, S. M. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 260, 3-4 (2007).  
Valdes, J. vd. *BMC Genomics.* 9:597 (2008).

## Sonuçlar



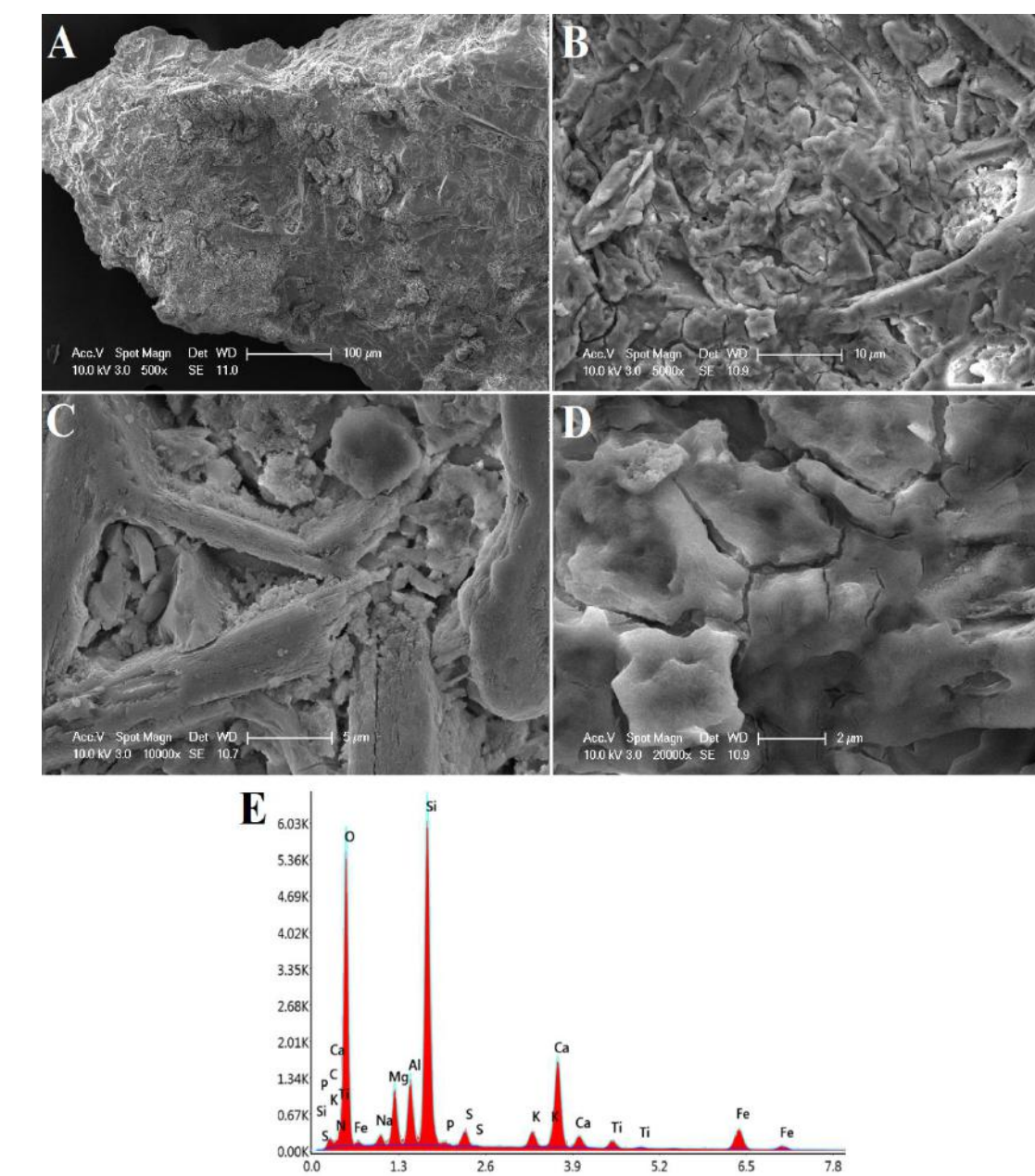
**Şekil 3.** 50 gün boyunca deneylerdeki (A) canlı *A. ferrooxidans* sayısı, (B) pH değerleri (pH 3.0'un üzerine çıktıkça astilliği korumak için deney setlerine sülfürik asit eklemesi yapıldı.), (C) Fe<sub>(tot)</sub> ve (D) Fe(II) konsantrasyonu, (E) Fe(III)'ün Fe<sub>(tot)</sub> içindeki yüzde değeri, (F) SiO<sub>2(aq)</sub>, (G) Ca ve (H) Mg konsantrasyonu.

**Tablo 2.** Kayaçların SiO<sub>2(aq)</sub>, Ca ve Mg salınım oranları. Konsantrasyon değerlerini doğrulamak için 1., oranları hesaplamak için 2. formül kullanıldı.

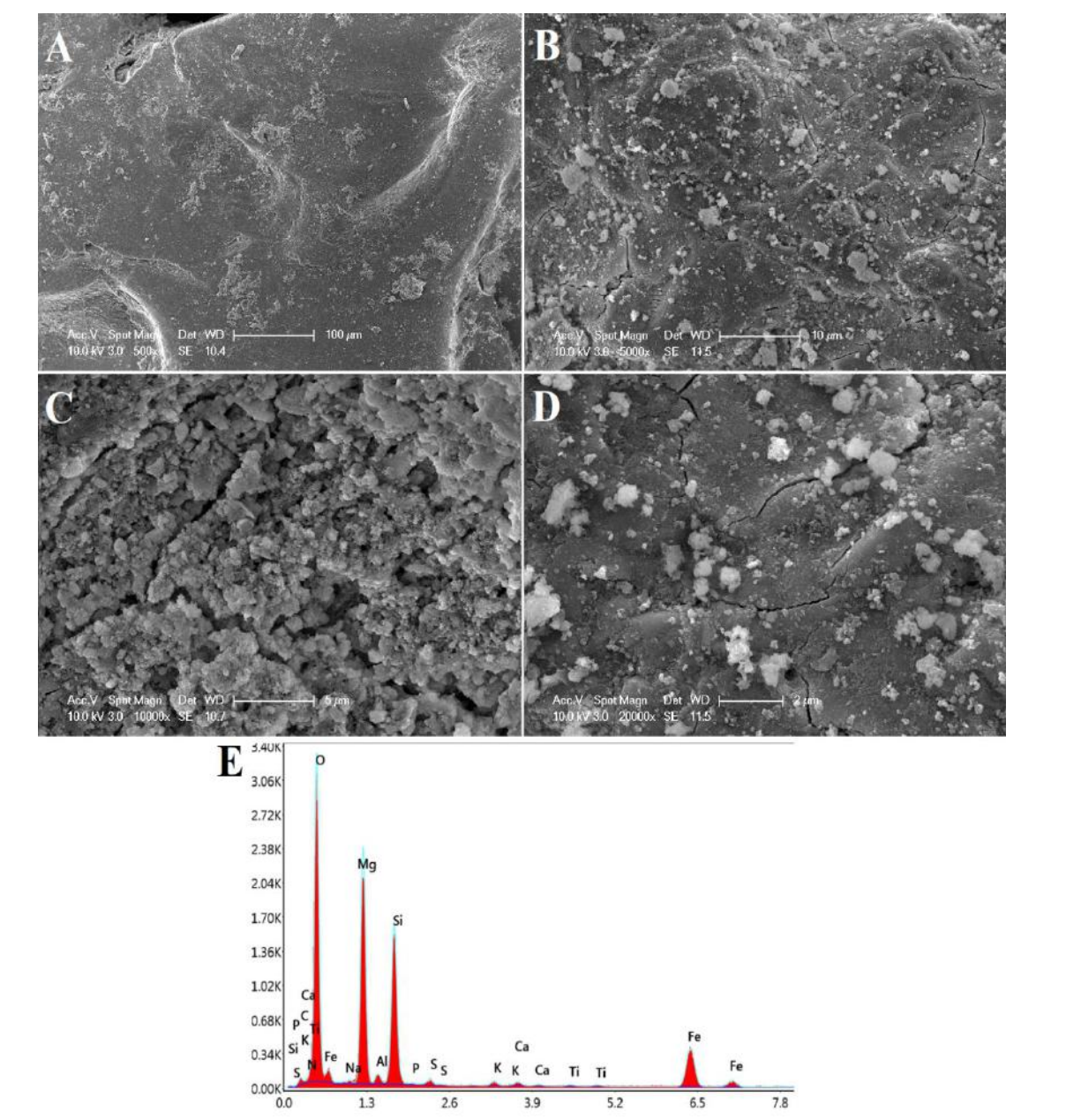
$$1. C_{j,i}^* = \frac{C_{j,i}(V_0 - (j-1)V_s) + \sum_{h=1}^{j-1} C_{h,i}V_s}{V_0}$$

$$2. R_i^l = \frac{dC_i^* V_0}{dt Am}$$

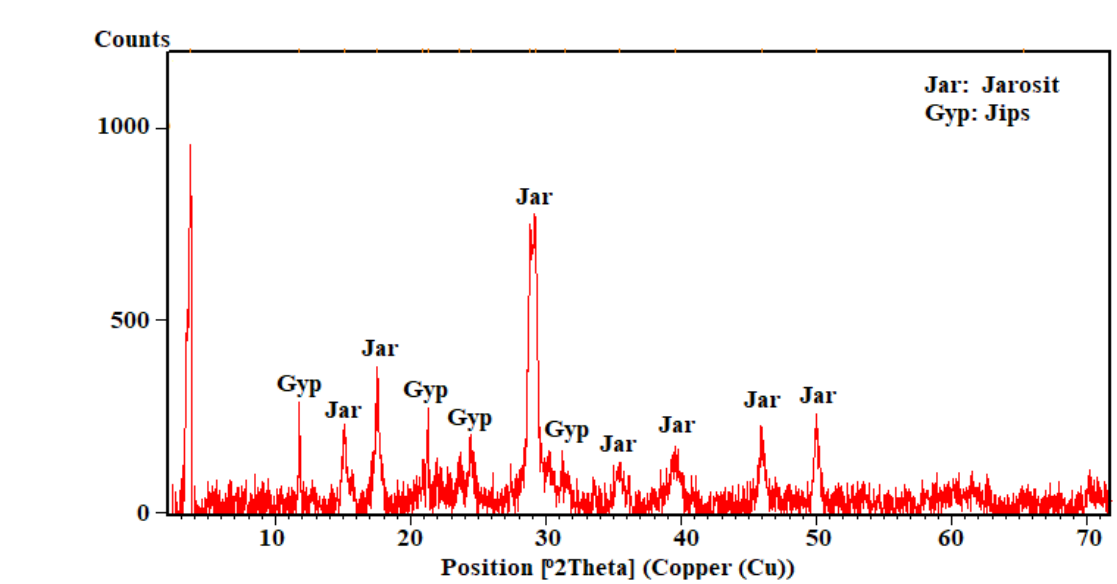
Experiments	R <sub>SiO2</sub>	R <sub>Ca</sub>	R <sub>Mg</sub>
BS1-AB	3,699	2,527	4,179
BS1-B	3,304	2,539	5,148
BS2-AB	4,359	2,721	9,405
BS2-B	4,897	3,196	10,883



**Şekil 4.** BS1-AB deney setindeki bazaltların deney sonu (A-D) SEM görüntüleri ve (E) EDS analizi.



**Şekil 5.** BS2-B deney setindeki bazaltların deney sonu (A-D) SEM görüntüleri ve (E) EDS analizi.



**Şekil 6.** BS2-B deney setinde bazalt ayrışması sonucu oluşan ikincil çökeltilerin mineralojik analizi.

## Tartışma

- Bazalt kayaçlarının asidik koşullar altında ayrışmaları *A. ferrooxidans*'in çoğalması için uygun bir ortam yarattı.
- Silikat çözünmesi pH'ın artmasına sebep oldu fakat *A. ferrooxidans* metabolizması sonucu oluşan Fe(III) hidroliz reaksiyonuna girmesi ve bakteriyel yan ürünler biyolojik setlerdeki pH değerinin daha düşük çıkmasına neden oldu.
- Biyolojik deney setlerinde Ca ve Mg solüsyonda daha fazla kalırken kayaçtan salınan Fe(II) çoğunlukla Fe(III)'e oksitlendi ve katı fazda zenginleşti.
- Biyolojik deney setlerinde sarı renkli bir ikincil oluşum gözlemlendi. Yapılan XRD analizinde bu oluşumun bir Fe-sülfat minerali olan jarosit ve Ca-sülfat minerali olan jips oldukları belirlendi. Bu iki mineralin deney boyunca sadece biyolojik setlerde oluşmuş olması ve Mars'ta asidik ayrışmanın gözlemlendiği Meridiani Planum bölgesinde de olması bu iki mineralin asidik koşullar altında bir biyoiz potansiyeli taşıdığını göstermiştir.